

Вопросы совершенствования и повышения эффективности экспериментальной отработки ракетно-космической техники

к.ф-м.н. Н.Г.Паничкин, Н.Н.Золкин

к.т.н. А.Б.Цветков

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«КОСМОНАВТИКА XXI ВЕКА»**

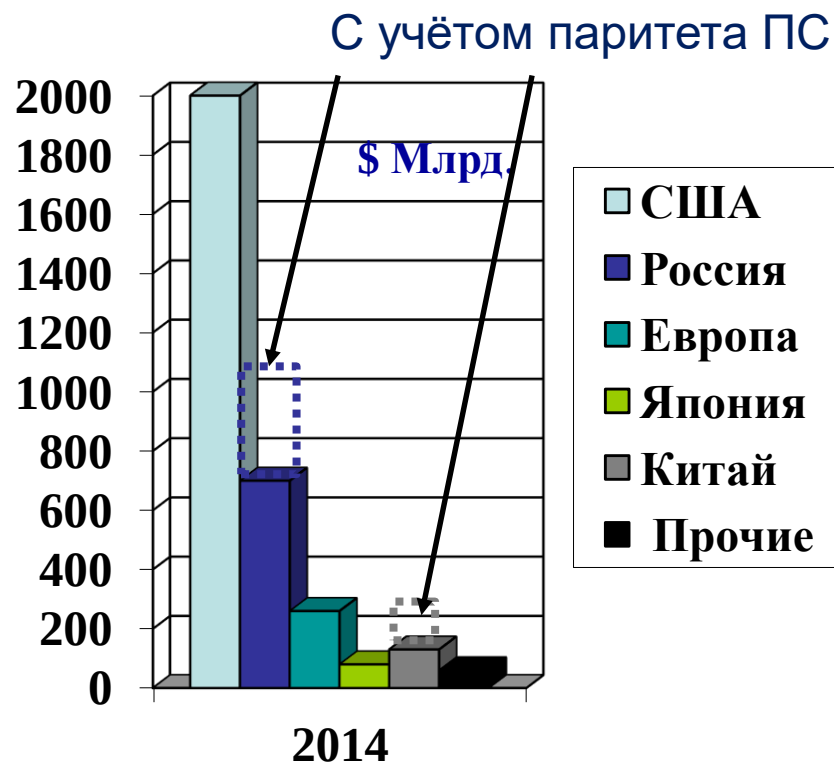
Королёв, 30 ноября 2016

Затраты на НИОКР и систему ЭО – труднопреодолимый «барьер входа» в космическую деятельность

(кумулятивные затраты ведущих участников)

Реперные показатели КД России (с 1957г)

- Число пусков РН > 3300
- Число запущенных КА > 3200
- Трудозатраты ~ более 14млн.человеко-лет
- Ранее достигнутый уровень производственных мощностей - более 100 РН в год (70-е годы)
- **Расходы на НИОКР, включая ЭО
~ 50% от общих расходов на КД**



ЭО в структуре космической деятельности России

Экспериментальная отработка (ЭО)/испытания РКТ
- базовая составляющая космической деятельности, обеспечивающая проведение прикладных и поисковых исследований в области РКТ и подтверждающая разработку, производство и эксплуатацию космической техники, материалов и технологий в соответствии с заданными требованиями, надёжностью и качеством
(ФЗ «О космической деятельности», 1993 г., ФЗ «О государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», 2015 г.)



Назначение и состав системы экспериментальной отработки (СЭО) РКТ

- **Назначение СЭО** - проведение прикладных и поисковых исследований в области РКТ, а также подтверждение соответствия создаваемой РКТ заданным требованиям.
- **Состав СЭО:**
 - Наземная экспериментальная и испытательная база (ЭИБ) РКП.
 - Научно-методическое и нормативное обеспечение ЭО РКТ.
 - Средства математического моделирования испытаний, интегрированные с комплексами цифрового макетирования изделий РКТ и базами данных/знаний по ЭО и эксплуатации РКТ
 - Анализ лётных испытаний и нештатных ситуаций; лётные демонстраторы
 - Научно-техническое сопровождение КПЭО
 - Высококвалифицированные кадры, система их подготовки и научные школы
 - Ресурсно-логистическое обеспечение ЭО (финансовое, ИТ, транспортное и др.)
- **Стоимость и сроки экспериментальной отработки и испытаний РКТ** являются основными факторами, определяющими стоимость ОКР (**до 70%** от общей стоимости), сроки и качество реализации проектов создания РКТ.
- Функционирование и развитие системы ЭО в интересах разработки РКТ гражданского, военного и двойного назначения требует реализации **единой промышленной и научно-технической политики по направлению ЭО.**
- Эффективное управление системой ЭО требует принятия комплекса мер технического и организационного характера, в т.ч. наличие **отраслевой программы поддержки функционирования и развития системы ЭО и формирование организационной структуры, отвечающей за её реализацию.**

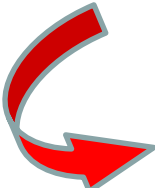
Анализ текущей ситуации в системе ЭО РКТ

Внутренние факторы

- Системная реформа РКП: структурные преобразования, система управления, кадры, экономическая модель, производ.модель и др.
- Актуализация базовых нормативных документов по ЭО, в т.ч. приказа Роскосмоса от 20.02.2009 № 24 по ЭО РКТ, РК-11,СМК и др.
- Избыточность и дублирование технических ресурсов ЭИБ при их неравномерной загрузке и низкой экономической эффективности
- Разбросанность по отрасли (1600 стендов на 44 предприятиях) при слабом контроле состояния
- Устаревшая матчасть ЭИБ, оборудование и системы измерения (>60% старше 25 лет)
- Отсутствие стендов по ряду направлений
- Старение и сокращение кадров (с 12000 чел. в 2000г. до 5000 чел. в 2015 г.) при дефиците их восполнения; потеря опыта и навыков
- Отставание в IT-обеспечении задач ЭО
- Отсутствие отраслевой программы развития системы ЭО и ответственного за её реализацию

Внешние факторы

- Новые задачи перед РКП в интересах науки, безопасности и соц.- эконом.развития РФ
- Сокращение госфинансирования РКП при усилении требований к качеству РКТ от первых лиц страны и органов госуправления
- Появление новых технологий повышения качества и эффективности ЭО на основе цифровых решений (виртуальные испытания, базы знаний по результатам ЭО и эксплуатации РКТ, автоматизация ЭО)
- Рост доли новых технологий производства в практике РКП (аддитивные, нано- и др.)
- Ограничение на доступ к зарубежным технологиям вследствие санкций
- 2-х кратный рост стоимости зарубежного оборудования и комплектующих из-за роста валютного курса
- Расширение кооперации, в т.ч. ВЭД по ЭО
- Успешный зарубежной опыт развития систем ЭО на основе новых технологий и эффективной организации



Требуется ! Разработка и реализация программы реформирования системы ЭО в РКП РФ.
Создание на базе ФГУП ЦНИИмаш отраслевого подразделения, ответственного за разработку и реализацию реформы системы ЭО РКТ

Центры ЭИБ РКП РФ по видам испытаний

Динамика основных параметров ЭИБ РКП в РФ

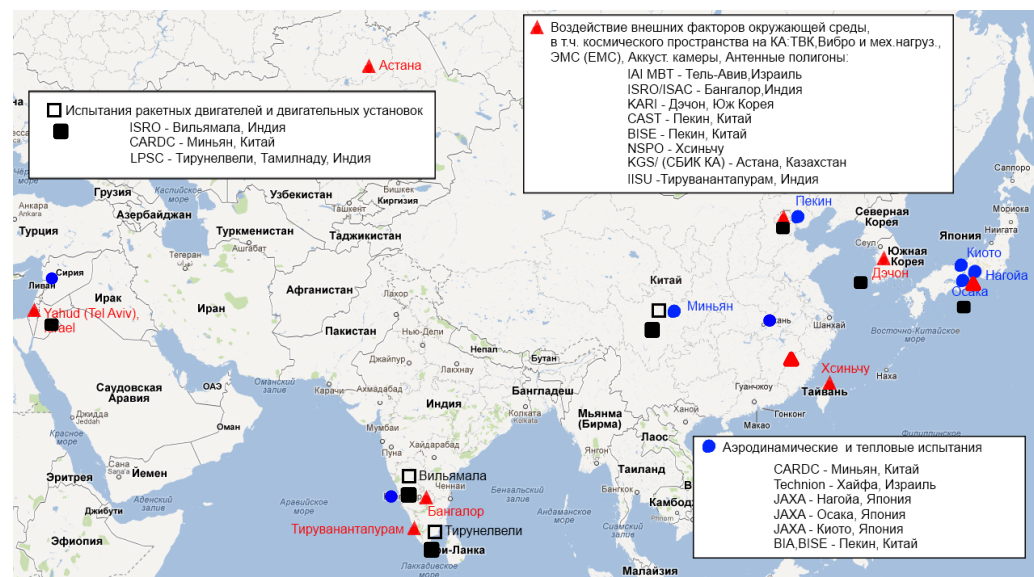
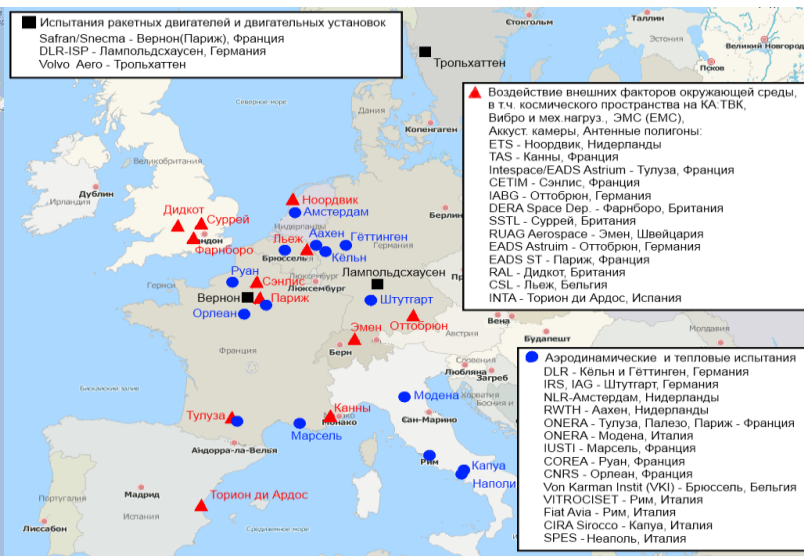
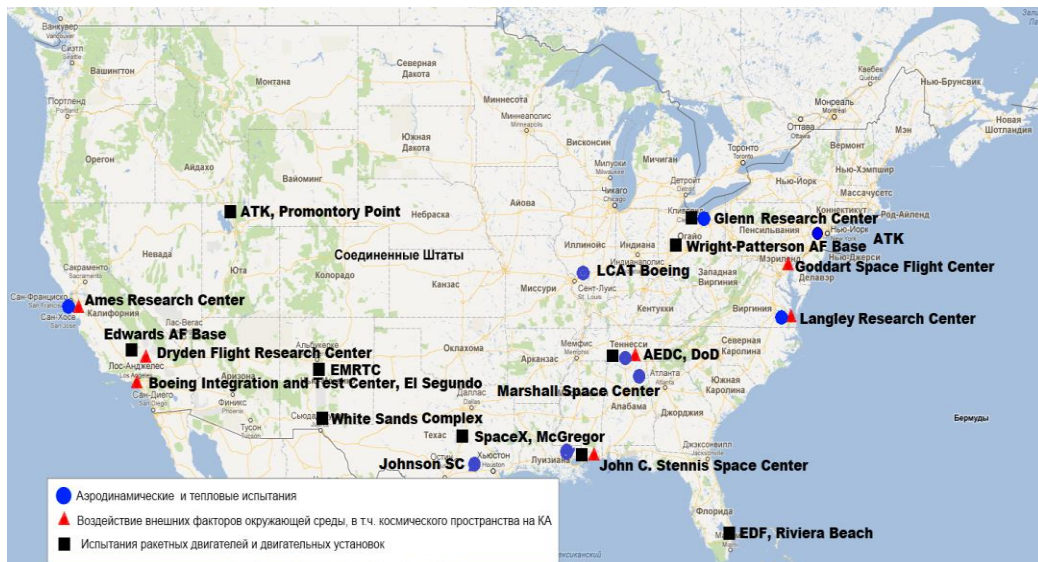
Характеристика ЭИБ ГНИО и головных разработчиков РКТ

АГД – аэрогазодинамика; ТО- теплообмен; П- прочность; М-материалы; ТВИ – тепло-вакуумные испытания;
ЖРД/РДУ- ракетная двигательная установка; ЭКБ – электронная компонентная база; К- климатические испытания

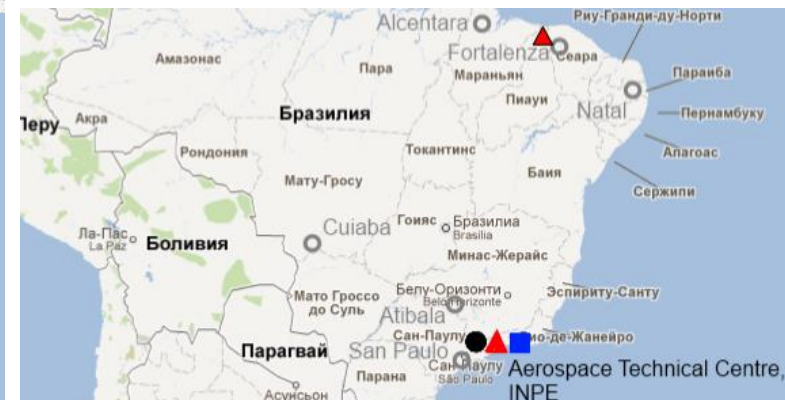
Характеристика состояния ЭИБ в РКП РФ

Состав ЭИБ : экспериментальная база ГНИО РКП (ЭБ ГНИО) +
испытательная база КБ и предприятий-изготовителей РКТ (ИБ ОРКК)

Основные центры ЭО РКТ за рубежом



Общее число крупных центров ЭО – более 60
 Восст.стоимость оборуд.и сооружен.~100 \$ млрд.
 Затраты на содержание (субсидии) > 2 \$ млрд.

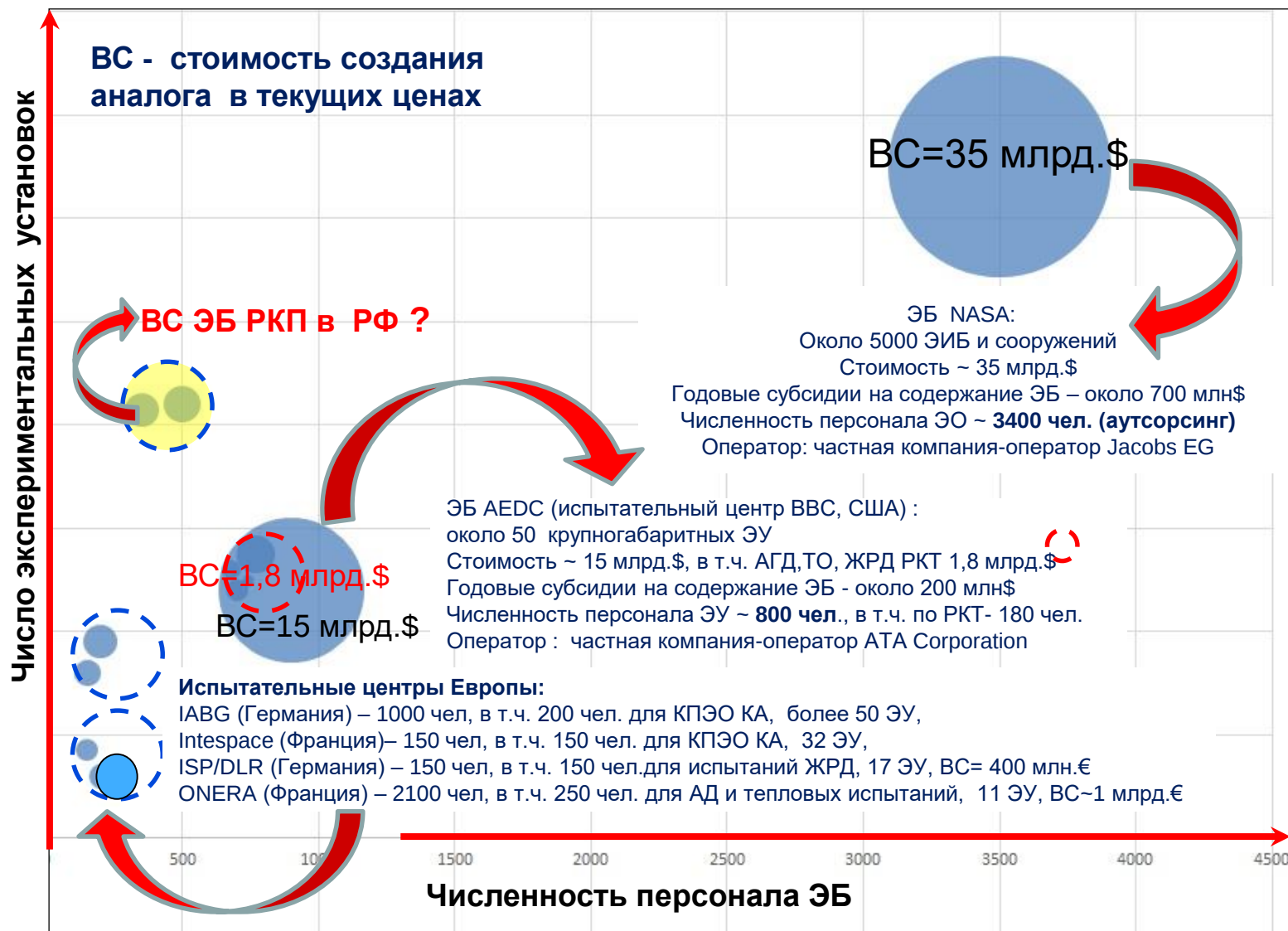


Характеристика основных мировых центров ЭО РКТ

№	Организация	Страна	Числен,чел Общ./ЭИБ *	Бюджет ЭИБ /субсид.*	Число ЭУ /сооруж.*	Виды испытаний	Форма собств.
1	Intespace	Франц.	150	25М€	32	КПЭО КА	Частная
2	IABG	Герман.	1000/200*	140М€	➤50	КПЭО КА, П, К	Частная
3	ETS/ESTEC	Нидерл.	2000/60*	15М€/5М€*	18	КПЭО КА	ГЧП
4	CSL	Бельгия	85	14М€	14	Автоном.КА	ГЧП
5	ISP/DLR	Герман.	150	30М€	17	РДУ и РД	Госуд.
6	SNECMA (Вернон)	Франц.	1100/100*	300М€/20М€*	11	ЖРД, ЭРД	ГЧП
7	ONERA	Франц.	2100/250*	245М€/25М€*	9	АГД, ТО	Госуд.
8	CIRA	Италия	320/150*	48М€	4	АГД, ТО	ГЧП
9	AEDC	США	2500/800*	200M\$*	58	АГД, РДУ, ТО ТВИ, Р, М, К	ГЧП
10	NASA	США	17000/Аут- сорсинг*	700M\$*	5000*	АГД,РДУ,ТО,М ТВИ,П, КПЭО,К	ГЧП
11	Jacobs Eng.Group	США	3500* (в NASA)	10 B\$	Услуги	_»_	ГЧП
12	ATK Corp.	США	1200	5 B \$	Услуги	_»_	ГЧП
13	ЦНИИмаш	РФ	3500/333*	500 млн.руб.	114	АГД,ТО,П,КПЭО	Госуд.
14	НИЦ РКП	РФ	2000/1100*	800 млн.руб.	64	ТВИ, ЖРД,К	Госуд.

ГЧП – государственно-частное партнёрство

Восстановительная стоимость (ВС) ЭИБ в мировых центрах ЭО РКТ



Генеральный план реформирования ЭИБ NASA

- Характеристика состояния сооружений и стендов NASA:
 - Количество – более 5000 сооружений и стендов ЭИБ
 - Возраст ЭИБ – 80% более 40 лет (плановый срок жизни ЭИБ - 50 лет)
 - Восстановительная стоимость ЭИБ (стоимость создания в ценах 2015 г) – около 35\$ млрд.
- План оптимизации ЭБ:
 - Сокращение существующей восстановительной стоимости на 15 % в течение 40 лет (до 2055 г.)
 - Начало работ по созданию плана – 2008 г.; ввод в действие - с 2014 г.
- Задачи плана оптимизации и развития ЭБ:
 - Создание новых и модернизация существующих стендов под программы NASA
 - Ремонт и обновление критической инфраструктуры (ресурсосберегающая энергетика, экология, система измерений и обработки данных испытаний)
 - Демонтаж и снос не востребуемых установок и сооружений
- **Основная проблема** – отсутствие ясной информации, достаточной для планирования оптимизации ЭБ (стратегический план NASA по развитию космической деятельности слишком общий).
- Основные рекомендации:
 - Более чётко сформулировать задачи вместе с центрами NASA по перспективным работам
 - Учитывать специфику центров NASA и исключить «уравниловку» требований для них
 - Провести анализ рисков решений по сценариям оптимизации ЭИБ

Основные принципы реформирования системы ЭО РКП в РФ

- Обеспечение сбалансированности наземных, лётных и численных (виртуальных) испытаний в системе ЭО РКТ.
- Обеспечение поддержания функционирования ЭБ ГНИО за счёт целевого государственного финансирования (субсидий). Развитие ЭБ - из средств ОКР и капитальных вложений.
- Обеспечение поддержания функционирования ИБ в КБ и предприятиях-изготовителях РКТ (ОРКК) через учёт стоимости испытаний в цене продукции. Развитие ИБ - из средств ОКР, капитальных вложений и собственных средств.
- Организация опережающей и поддержание постоянной готовности ЭИБ для обеспечения полноты и достаточности ЭО при реализации космических программ.
- Внедрение принципов индикативного планирования и управления в систему ЭО.
- Частота использования установок и стендов ЭИБ является важным, но не основным критерием определения инвестиций в развитие ЭИБ или её консервации/утилизации (т.к. стоимость и сроки создания ЭИБ на 1-2 порядка превышают затраты на содержание ЭИБ).
- Обеспечение ЭИБ компетентным персоналом, надёжным оборудованием, передовыми технологиями и эффективными процессами лежит в основе эффективности функционирования системы ЭО и её развития.

Основные направления реформирования системы ЭО в РКП РФ

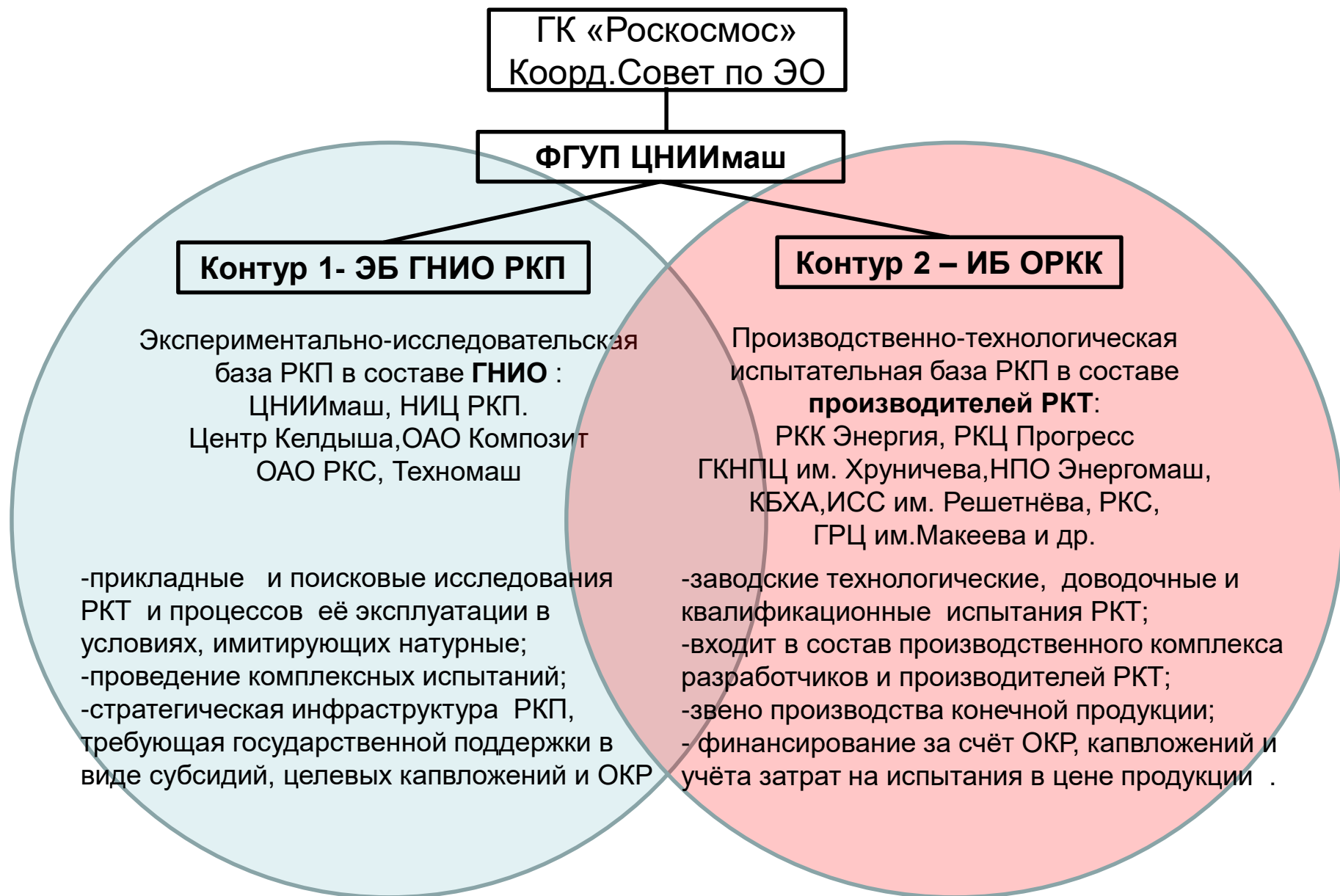


Индикаторы и показатели эффективности системы ЭО

Направления	Индикаторы эффективности системы ЭО РКТ		Оценка показателей		
	Российская РКП – ●	Лучшие мировые решения - ●	Низк.	Средн.	Высок.
Менеджмент					●
				●	○
				●	○
				●	○
			●	●	○
			●	●	○
Технологии				●	○
				●	○
			●	●	○
				●	○
Процессы			●	●	○
			●		○
				●	○
			●	●	○
Экономика			●		○
			●		○
			●		○

Лучшие решения мировых лидеров

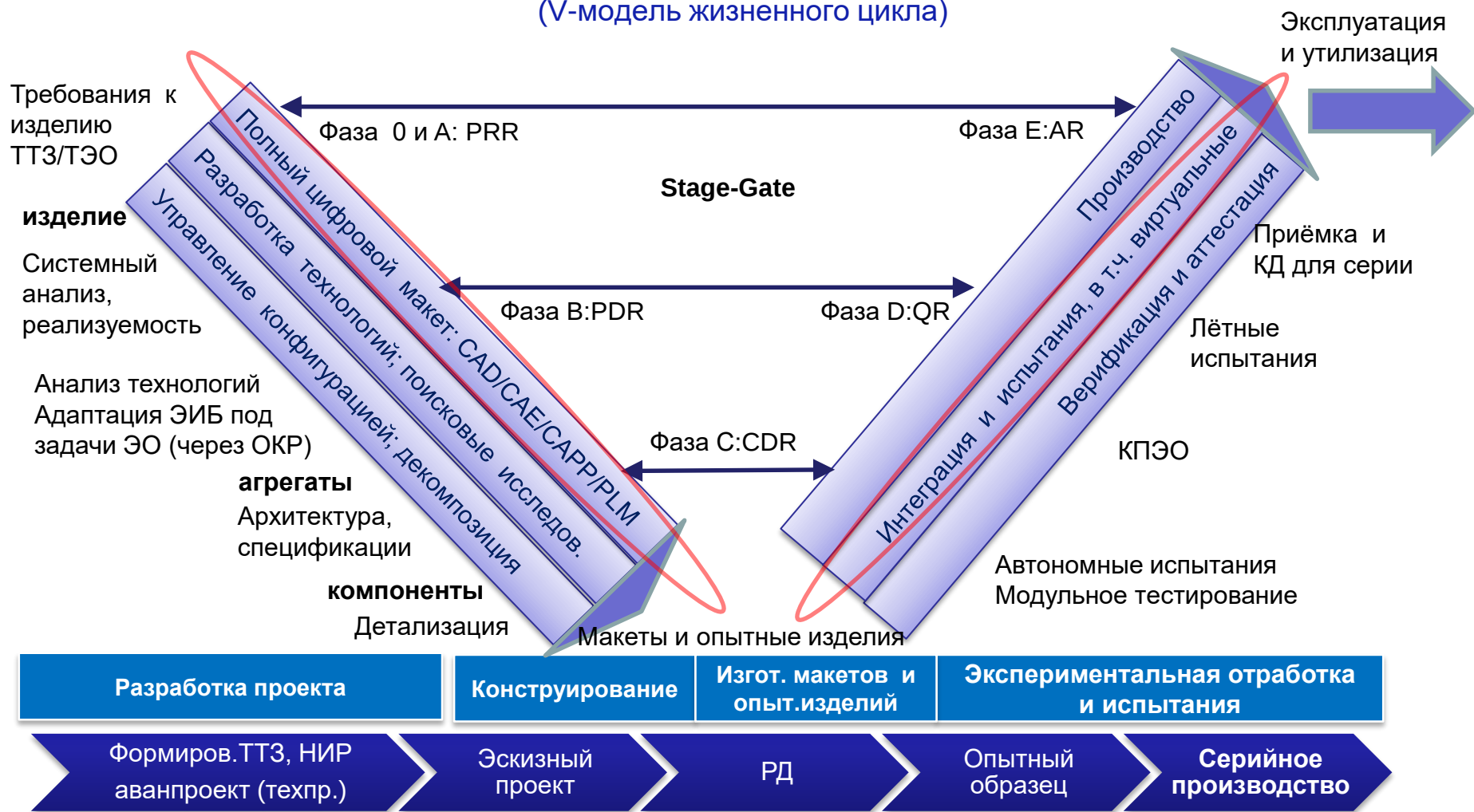
Модель двухконтурной структуры экспериментальной и испытательной базы (ЭИБ) в системе ЭО РКТ (проект)



Приоритетные задачи технической модернизации и развития ЭИБ РКП

Роль виртуальных технологий в повышении эффективности процессов создания РКТ

(V-модель жизненного цикла)



Современная технология создания РКТ - переход от отдельного проектирования и обмена документами/КД к безбумажной технологии обмена имитационными моделями во всей цепочке исполнителей и поставщиков с целью:

- сокращения сроков и затрат на разработку проекта – в 3-5 раз (параллельный инжиниринг);
- снижения рисков ошибок при выборе технических решений (комплексная экспертиза в виртуальной среде);
- сокращения сроков и затрат на экспериментальную отработку (виртуальные испытания).

Внедрение технологии параллельного инжиниринга



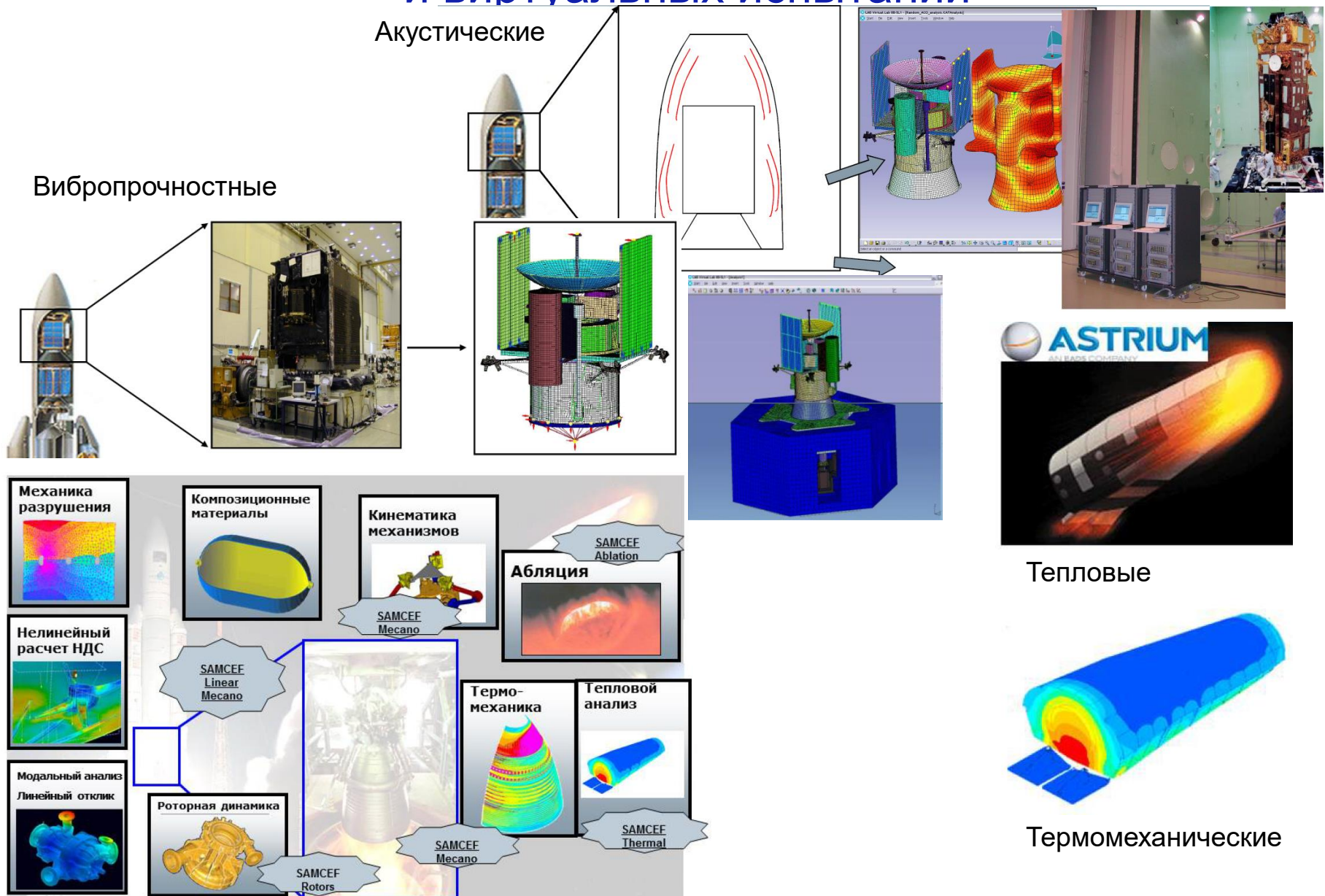
Назначение: временная площадка «проектных команд» для разработки, анализа и сопровождения проектов

Задачи ЦПП:

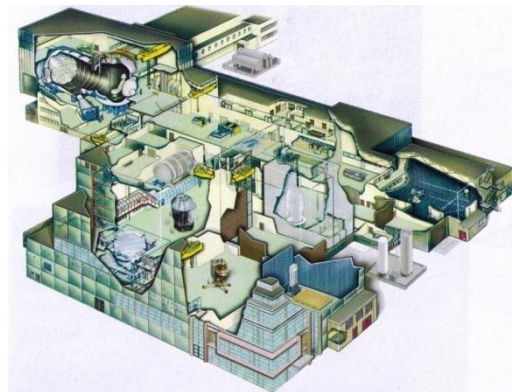
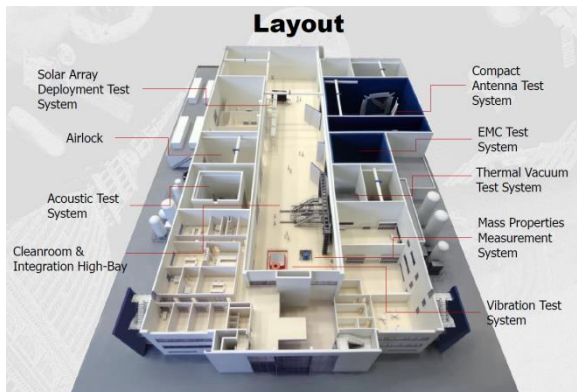
- Сокращение сроков и затрат на проектные работы
- Полный системный анализ проектов: цели, задачи, ТТХ, сроки, цена, риски
- Повышение качества работ за счёт междисциплинарной команды с участием Заказчика и виртуального прототипирования объектов и процессов
- Капитализация знаний через создание БЗ проектов и архива лучших практик
- Обучения и повышения квалификации персонала
- Анализ нештатных ситуаций
- Демонстрация для VIP в целях продвижения программ и проектов

Особенности технологии работы в ЦПП: SCRUM + V-модель; интегрированная цифровая среда CAD/CAM/CAE/CAPP/PLM; единое информационное пространство; мозговой штурм; междисциплинарная команда с участием Заказчика; архив типовых проектов и решений.

Технология лётных демонстраторов (protoflight) и виртуальных испытаний



Перспективный центр сборки и испытаний КА



Lean-технология «конвейерной» сборки и испытаний КА под «одной крышей»



Опыт внедрения:

- Франция, Германия
- Нидерланды, Бельгия
- Италия, Испания
- США, Канада
- КНР
- Индия
- Бразилия
- Израиль
- Япония
- Южная Корея
- Тайвань
- Казахстан
- Турция

Типовая компоновка Центра:

- Чистая комната для сборки КА
- Большая ТВК имитации космич. пространства
- Малая ТВК имитации космич. пространства
- Вибростенды (от 1 до 6 степ.свободы)
- Акустический стенд
- Испытание на устойчивость
- Стенд для определение центра масс
- Стенд для испытания антенных устройств
- Стенд ЭМС
- Центр обработки данных испытан.
- Стенд измерения силовой нагрузки

Имитация комплексного воздействия факторов КП на бортовую авионику и датчиковую аппаратуру

Стенд для испытаний малых КА, узлов, агрегатов КА и датчиковой аппаратуры в условиях имитации комплексного воздействия факторов космического пространства:

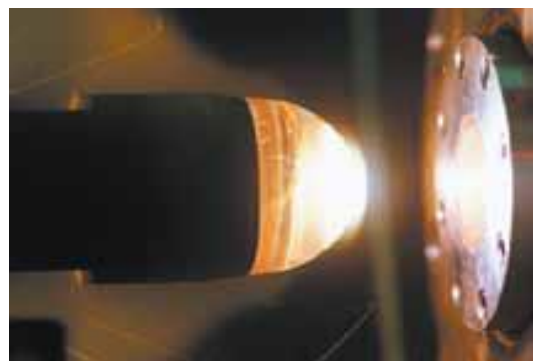
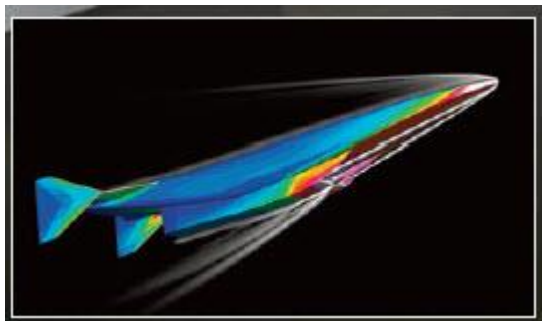
- природные (UV, P, T, O, частицы высоких энергий)
- техногенные (СВА)
- антропогенные (световые, RF, ЭМИ, радиационные и тепловые импульсы)

Тип ЭУ: ТВК с источниками воздействия

Хар-ки ТВК: D- 2 m, L-4 m, V- 10 m³

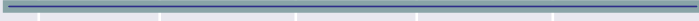


Развитие ЭБ для исследования перспективных КТС



План реформирования отраслевой системы ЭО при головной роли ФГУП ЦНИИмаш

План реформирования системы экспериментальной отработки (СЭО) в ГК Роскосмос (2016-2019)

№	Мероприятия/направления	2016	2017		2018		2019	
		IV кв.	I п/г.	II п/г.	I п/г.	II п/г.	I п/г.	II п/г.
1	Создание рабочих органов по управлению СЭО: -ОКФР на базе ЦНИИмаш (Приказ, структура) - Коорд.Совет по ЭО (Приказ ГК Роскосмос)	 						
2	Актуализация нормативных документов СЭО: -приказ и положение по ЭО -новая редакция РК-11 (участие в части ЭО) - стандарты испытаний (участие в части ЭО)	  						
3	-Разработка руководящих документов СЭО - концепция развития - программа развития	 						
4	Реализация программы развития СЭО: - инвентаризация и аудит состояния СЭО - создание двухконтурной системы ЭИБ - развитие технологии виртуальных испытаний - отраслевое ЕИП СЭО (портал ЭО, БД, БЗ) - стандартизация опыта и навыков ЭО - модернизация и создание новых стендов - разработка профстандартов и подготовка кадров - информацион. мероприятия по СЭО (обучение, конференции в РФ и за рубежом, публикации)	       						
5	Реализация программы повышения эффективности СЭО (индикативное управление, оптимизация ЭИБ, повыш. производительности труда, ценообразование и оптимизация затрат, планирование и моделирование эксперимента)							

Ожидаемые результаты реализации комплекса мер по развитию системы ЭО РКТ в перспективе до 2025 г.

- **Система управления и оргструктура**
 - Централизованная система управления ЭО в РКП (головная организация - ФГУП ЦНИИмаш)
 - Двухконтурное деление ЭИБ РКП на ЭБ ГНИО (контур 1) и ИБ ОРКК (контур 2)
 - Создание отраслевого КС по ЭО; участие ген.конструкторов и руководителей технологических направлений
 - Новые решения: проектное и индикативное управление; ГЧП; управление знаниями; lean management
- **Инфраструктура**
 - Оптимизированный состав ЭИБ с ликвидацией дублирующих и устаревших ресурсов (до 5% ЭИБ)
 - Модернизированная ЭИБ согласно приоритетам развития системы ЭО
- **Технология ЭО**
 - Техническое перевооружение ЭИБ, новые виды испытаний, унификация АСУ испытаниями
 - Широкое внедрение техники виртуальных испытаний, интегрированных с PLM системами, развитие единого информационного пространства системы ЭО
 - Активизация использования лётных демонстраторов; создание интегрированных комплексов ЭО
- **Экономика**
 - Новая экономическая модель и модель ценообразования системы ЭО
 - Сокращение расходов на содержание ЭИБ за счёт оптимизации состава ЭИБ, в т.ч. утилизации избыточных ресурсов (до 5% ЭИБ), использования технологий ресурсо- и энергосбережения, роста производительности
 - Сокращение удельных затрат на ЭО в стоимости ОКР за счёт повышения эффективности испытаний
 - Увеличение загрузки ЭИБ за счёт расширения заказов из других отраслей и развития ВЭД
- **Нормативная база**
 - Актуализированная нормативная база по ЭО, гармонизированная с международными стандартами
 - Комплексная программа развития системы ЭО, стандартов испытаний, новая редакция РК – 11
- **Процессы**
 - Повышение эффективности и производительности испытаний на основе принципов производственной системы Роскосмоса, стандартизация опыта и навыков персонала (Standard Work)
 - Обеспечение сбалансированности использования разных видов испытаний (наземные, лётные, численные)
- **Кадры**
 - Разработка профессиональных стандартов по ЭО
 - Разработка и реализация учебных программ, участие в международном сотрудничестве и обмене по ЭО
 - Унификация профессиональных требований к кадрам системы ЭО и новые формы их организации

Спасибо за внимание!